

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 08330629 A

(43) Date of publication of application: 13.12.96

(51) Int. Cl. H01L 33/00
H01S 3/18

(21) Application number: 07317844

(22) Date of filing: 06.12.95

(30) Priority: 29.03.95 JP 07 70989

(71) Applicant: NICHIA CHEM IND LTD

(72) Inventor: MUKAI TAKASHI

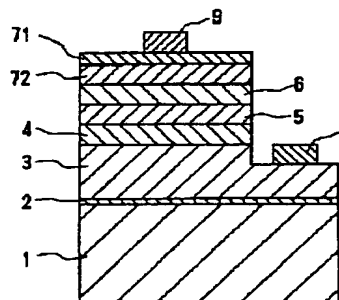
(54) LIGHT-EMITTING NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT

(57) Abstract:

PURPOSE: To obtain a light-emitting nitride semiconductor element which lowers a V_f (a forward voltage) by a method wherein a p-type layer forming a positive electrode is constituted of a heavily acceptor-doped first p-type layer and a lightly doped second p-type layer.

CONSTITUTION: A contact layer is constituted of a first p-type contact layer 71 in which a layer coming into contact with a positive electrode 9 is formed as a heavily acceptor-doped first nitride semiconductor layer and a second p-type contact layer 72 as a second nitride semiconductor layer acceptor-doped more lightly than the first p-type contact layer. The acceptor concentration of the first heavily doped p-type contact layer is adjusted to 1×10^{17} to $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$. The acceptor concentration of the second lightly doped p-type contact layer 2 is adjusted to a range of 2×10^{15} to $5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$. The contact layer 71, 72 form the positive electrode 9, and they are layers which can form desirable ohmic contacts with the positive electrode 9. The closer they are perfect ohmic contacts, the more the V_f of a light-emitting element can be lowered.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-330629

(43) 公開日 平成8年(1996)12月13日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平7-317844

(22) 出願日 平成7年(1995)12月6日

(31) 優先権主張番号 特願平7-70989

(32) 優先日 平7(1995)3月29日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 向井 孝志

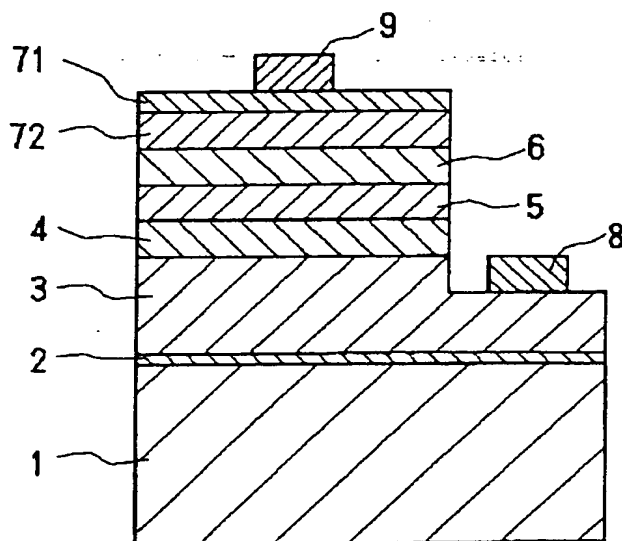
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子

(57) 【要約】

【目的】 ダブルヘテロ構造の窒化物半導体発光素子の V f をさらに低下させることにより発光効率に優れた素子を提供する。

【構成】 n 型窒化物半導体層と p 型窒化物半導体層との間に発光する活性層を有し、p 型窒化物半導体層表面に正電極が形成されてなる窒化物半導体発光素子において、前記 p 型窒化物半導体層は正電極と接する側から順にアクセプター不純物濃度の高い第一の p 型窒化物半導体層と、第一の p 型窒化物半導体層よりもアクセプター不純物濃度の低い第二の p 型窒化物半導体層とを含むことを特徴とする



【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に発光する活性層を有し、p型窒化物半導体層表面に正電極が形成されてなる窒化物半導体発光素子において、前記p型窒化物半導体層は正電極と接する側から順にアクセプター不純物濃度の高い第一のp型窒化物半導体層と、第一のp型窒化物半導体層よりもアクセプター不純物濃度の低い第二のp型窒化物半導体層とを含むことを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項2】 前記第一のp型窒化物半導体層の膜厚が0.1 μ m以下であることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項3】 前記正電極がニッケルおよび金を含むことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の窒化物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)等に使用される窒化物半導体(In_aAl_bGa_{1-a-b}N、0 \leq a、0 \leq b、a+b \leq 1)よりなる発光素子に係り、特にn型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に活性層を有するダブルヘテロ構造の窒化物半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】紫外～赤色に発光するLED、LD等の発光素子の材料として窒化物半導体(In_aAl_bGa_{1-a-b}N、0 \leq a、0 \leq b、a+b \leq 1)が知られている。我々はこの半導体材料を用いて、1993年11月に光度1cdの青色LEDを発表し、1994年4月に光度2cdの青緑色LEDを発表し、1994年10月には光度2cdの青色LEDを発表した。これらのLEDは全て製品化されて、現在ディスプレイ、道路信号等の実用に供されている。

【0003】図2に窒化物半導体よりなる従来の青色、青緑色LEDの発光チップの構造を示す。基本的には、基板21の上に、GaNよりなるバッファ層22、n型GaNよりなるn型コンタクト層23と、n型AlGaNよりなるn型クラッド層24と、n型InGaNよりなる活性層25と、p型AlGaNよりなるp型クラッド層26と、p型GaNよりなるp型コンタクト層27とが順に積層されたダブルヘテロ構造を有している。活性層25のn型InGaNにはSi、Ge等のドナー不純物および/またはZn、Mg等のアクセプター不純物がドーピングされており、LED素子の発光波長は、その活性層のInGaNのIn組成比を変更するか、若しくは活性層にドーピングする不純物の種類を変更することで、紫外～赤色まで変化させることが可能となっている。現在、活性層にドナー不純物とアクセプター不純物とが同時にドーピングされた発光波長510nm以下のLEDが実用化されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来の青色LEDは順方向電流(I_f)20mAで順方向電圧(V_f)が3.6V～3.8V、発光出力は3mW近くあり、SiCよりなる青色LEDと比較して20倍以上の発光出力を有している。順方向電圧が低いのはp-n接合を形成しているためであり、発光出力が高いのはダブルヘテロ構造を実現しているためである。このように、現在実用化されているLEDは非常に性能の高いものであるが、さらに高性能なLED、LDのような発光素子が求められている。例えばLEDのV_fは前記のように3.6V～3.8Vという低い値を達成しているが、LDのように電極幅や電極面積の小さい発光素子を実現するためには、さらにV_fを低下させる必要がある。

【0005】従って、本発明はこのような事情を鑑みて成されたものであり、その目的とするところは、ダブルヘテロ構造の窒化物半導体よりなる発光素子の性能をさらに向上させることにあり、具体的には、発光素子のV_fをさらに低下させることにより発光効率に優れた素子を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の発光素子は、n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に発光する活性層を有し、p型窒化物半導体層表面に正電極が形成されてなる窒化物半導体発光素子において、前記p型窒化物半導体層は正電極と接する側から順にアクセプター不純物濃度の高い第一のp型窒化物半導体層と、第一のp型窒化物半導体層よりもアクセプター不純物濃度の低い第二のp型窒化物半導体層とを含むことを特徴とする。

【0007】さらに前記発光素子において、第一のp型窒化物半導体の膜厚は0.1 μ m以下、さらに好ましくは500オングストローム以下、最も好ましくは200オングストローム以下に調整する。0.1 μ mよりも厚いと結晶自体に不純物による結晶欠陥が多くなり、逆にV_fが高くなる傾向にある。

【0008】

【作用】p層を高キャリア濃度のp+型と低キャリア濃度のp型とする技術が特開平6-151964号、特開平6-151965号、特開平6-151966号等に記載されている。これらの公報に開示される発光素子はGaNのホモ接合により発光する。このためp-n接合界面を基準として、この接合界面より遠ざかる方向にn型GaN層を低キャリア濃度のn型と高キャリア濃度のn+型とし、p型GaNを低キャリア濃度のp型と、高キャリア濃度のp+型としている。そしてこれら二段のキャリア濃度よりなるn層とp層とを組み合わせることにより、発光素子の長寿命と発光輝度の向上を図っている。

【0009】一方、本発明の発光素子が前記公報と異な

るところは、ダブルヘテロ構造の発光素子のp型層をアクセプター不純物濃度の低い第二のp型層と、アクセプター不純物濃度の高い第一のp型層とにしている点である。ダブルヘテロ構造の発光素子はホモ接合の発光素子と比較して10倍以上発光出力が高い。従って、前記公報のようにp型層をp+型とp型との組み合わせにしても、出力の増加はほとんどない。むしろ本発明では発光出力よりも、ダブルヘテロ構造のVfを低下させ、発光効率を改善している点が従来の技術と異なる。また、アクセプター不純物に関して、一般にキャリア濃度はアクセプター不純物の濃度とおおよそ比例しているが、窒化物半導体の場合、半導体層にアクセプター不純物をドーブした後、400℃以上でアニーリングを行うことにより完全なp型として作用する。このためホールキャリア濃度はアニーリング状態、アニール温度等により変動することが多く、素子構造とした時の正確なキャリア濃度を測定することは困難であるので、本発明ではアクセプター不純物濃度で発光素子の特徴づけている。

【0010】次に、本発明の発光素子は従来のようにp-n接合界面を基準としているのではなく、正電極の接触面を基準とし、この正電極と接する面を高不純物濃度の第一のp型層として、その第一のp型層に接して低不純物濃度の第二のp型層としている点で異なる。正電極に接する層を基準としてp層を構成することにより、Vfを低下させることができる。

【0011】さらに前記公報に開示される発光素子と、本発明の発光素子とが最も異なる点はp+層の膜厚である。つまり、前記公報では高キャリア濃度のp+型の半導体層の膜厚が0.2μm以上なければ発光素子の発光出力が低下するが、本発明の発光素子では高不純物濃度の第一のp型層の膜厚を0.2μm以上にすると、Vfが高くなる。これは不純物ドーブによる結晶性の悪化によるものである。逆に本発明の発光素子では高不純物濃度の第一のp型層の膜厚は0.1μm以下であることが好ましい。0.1μm以下とすることにより、効果的に発光素子のVfを低下させることが可能である。

【0012】

【実施例】

【実施例1】以下、図面を元に本発明の発光素子を詳説する。図1は本発明の一実施例の発光素子の構造を示す模式断面図である。この発光素子は基板1の上にバッファ層2、n型コンタクト層3、n型クラッド層4、活性層5、p型クラッド層6、アクセプター不純物濃度の低い第二のp型コンタクト層72、アクセプター不純物濃度が高い第一のp型コンタクト層71を順に積層した構造を示している。さらに第一のp型コンタクト層71には正電極9が形成され、n型コンタクト層3には負電極8が形成されている。

【0013】基板1にはサファイア(A面、C面、R面を含む)の他、SiC(6H、4Hを含む)、ZnO、

Si、GaAsのような窒化物半導体と格子不整合の基板、またNGO(ネオジウムガリウム酸化物)のような酸化物単結晶よりなる窒化物半導体と格子定数の近い基板等を使用することができる。

【0014】バッファ層2はGaN、AlN、GaAlN等を例えば50オングストローム~0.1μmの膜厚で成長させることが好ましく、例えばMOVPE法によると400℃~600℃の低温で成長させることにより形成できる。バッファ層2は基板1と窒化物半導体との格子不整合を緩和するために設けられるが、SiC、ZnOのような窒化物半導体と格子定数が近い基板、窒化物半導体と格子整合した基板を使用する際にはバッファ層が形成されないこともある。

【0015】n型コンタクト層3は負電極8を形成する層であり、GaN、AlGaN、InAlGaN等を例えば1μm~10μmの膜厚で成長させることが好ましく、その中でもGaNを選択することにより負電極の材料と好ましいオーミック接触を得ることができる。負電極8の材料としては例えばTiとAl、TiとAu等を好ましく用いることができる。

【0016】n型クラッド層4はGaN、AlGaN、InAlGaN等を例えば500オングストローム~0.5μmの膜厚で成長させることが好ましく、その中でもGaN、AlGaNを選択することにより結晶性の良い層が得られる。また、n型クラッド層4、n型コンタクト層3のいずれかを省略することも可能である。どちらかを省略すると、残った層がn型クラッド層およびn型コンタクト層として作用する。

【0017】活性層5はクラッド層よりもバンドギャップエネルギーが小さいInGaN、InAlGaN、AlGaN等の窒化物半導体であれば良く、特に所望のバンドギャップによってインジウムの組成比を適宜変更したInGaNにすることが好ましい。また活性層5を例えばInGaN/GaN、InGaN/InGaN(組成が異なる)等の組み合わせで、それぞれの薄膜を積層した多重量子井戸構造としてもよい。単一量子井戸構造、多重量子井戸構造いずれの活性層においても、活性層はn型、p型いずれでもよいが、特にノンドープ(無添加)とすることにより半値幅の狭いバンド間発光、励起子発光、あるいは量子井戸準位発光が得られ、LED素子、LD素子を実現する上で特に好ましい。活性層を単一量子井戸(SQW:single quantum well)構造若しくは多重量子井戸(MQW:multiquantum well)構造とすると非常に出力の高い発光素子が得られる。SQW、MQWとはノンドープのInGaNによる量子準位間の発光が得られる活性層の構造を指し、例えばSQWでは活性層を単一組成の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$)で構成した層であり、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ の膜厚を100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下とすることにより量子準位間の強い発光が得

られる。またMQWは組成比の異なる $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (この場合 $x=0$ 、 $x=1$ を含む) の薄膜を複数積層した多層膜とする。このように活性層をSQW、MQWとすることにより量子準位間発光で、約365nm~660nmまでの発光が得られる。量子構造の井戸層の厚さとしては、前記のように70オングストローム以下が好ましい。多重量子井戸構造では井戸層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ で構成し、障壁層は同じく $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($y < x$ 、この場合 $y=0$ を含む) で構成することが望ましい。特に好ましくは井戸層と障壁層を InGaIn で形成すると同一温度で成長できるので結晶性のよい活性層が得られる。障壁層の膜厚は150オングストローム以下、さらに好ましくは120オングストローム以下にすると高出力な発光素子が得られる。また、活性層5にドナー不純物および/またはアクセプター不純物をドーピングしてもよい。不純物をドーピングした活性層の結晶性がノンドープと同じであれば、ドナー不純物をドーピングするとノンドープのものに比べてバンド間発光強度をさらに強くすることができる。アクセプター不純物をドーピングするとバンド間発光のピーク波長よりも約0.5eV低エネルギー側にピーク波長を持っていくことができるが、半値幅は広くなる。アクセプター不純物とドナー不純物を同時にドーピングすると、アクセプター不純物のみドーピングした活性層の発光強度をさらに大きくすることができる。特にアクセプター不純物をドーピングした活性層を実現する場合、活性層の導電型はSi等のドナー不純物を同時にドーピングしてn型とすることが好ましい。活性層5は例えば数オングストローム~0.5μmの膜厚で成長させることができる。但し、活性層を単一量子井戸構造若しくは多重量子井戸構造として、活性層を構成する窒化物半導体層の膜厚を薄くするときはn型クラッド層4と活性層5との間にInを含むn型の窒化物半導体よりなる第二のn型クラッド層40を形成することが望ましい。

【0018】p型クラッド層6はGaIn、AlGaIn、InAlGaIn等を例えば500オングストローム~0.5μmの膜厚で成長させることが好ましく、その中でもGaIn、AlGaInを選択することにより結晶性の良い層が得られる。なおこのp型クラッド層6を省略することも可能である。

【0019】次に、本発明の特徴であるコンタクト層71、72について述べる。このコンタクト層71、72は正電極9を形成して、正電極9と好ましいオーミック接触を得る層であり完全なオーミックに近ければ近いほど、発光素子のVfを低下させることができる。そのため、このコンタクト層は、正電極9に接する層をアクセプター不純物濃度が高い第一の窒化物半導体層である第一のp型コンタクト層71と、その第一のp型コンタクト層よりもアクセプター不純物濃度が低い第二の窒化物半導体である第二のp型コンタクト層72とで構成されている。

【0020】第一のp型コンタクト層71、および第二のp型コンタクト層72は同一組成の窒化物半導体で形成することが望ましく、例えばGaIn、AlGaIn、InAlGaIn等を成長させることができる。その中でもGaInを選択することにより正電極9の材料と好ましいオーミック接触を得ることができる。

【0021】高濃度の第一のp型コンタクト層71のアクセプター不純物濃度は $1 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ に調整することが望ましい。 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ よりも低いと、電極とオーミック接触を得ることが難しく、 $5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ よりも高いと不純物により窒化物半導体の結晶性が悪くなり、Vfが高くなる傾向にある。

【0022】一方、低濃度の第二のp型コンタクト層72のアクセプター不純物濃度は $2 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲に調整することが望ましい。 $2 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ よりも低いと、p型としての抵抗が高くなるのでVfが高くなる傾向にある。 $5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ よりも高いと高濃度の第一のp型コンタクト層71とのバランスが取りにくく、Vfの向上があまり望めなくなる傾向にある。

【0023】コンタクト層71、72のホールキャリア濃度は前にも述べたように、窒化物半導体にドーピングするアクセプター不純物の濃度を変化させるか、あるいはアクセプター不純物をドーピングしたコンタクト層71、72を、400℃以上でアニーリングすることにより調整できるが、正確な値を測定することは困難である。おおよその値としては、前記アクセプター不純物濃度で400℃以上のアニールを行うことにより、例えばホールキャリア濃度およそ $1 \times 10^{16} \sim 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の第一のp型コンタクト層71が得られ、同じくホールキャリア濃度およそ $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の第二のp型コンタクト層72が得られる。

【0024】第一のp型コンタクト層71と好ましいオーミックが得られる正電極9の材料としてはNiおよびAuを含む金属を用いることができる。NiおよびAuを含む正電極は特にp型GaInと好ましいオーミックを得ることができる。

【0025】本発明の発光素子は例えばMOVPE (有機金属気相成長法)、MBE (分子線気相成長法)、HDVPE (ハイドライド気相成長法) 等の気相成長法を用いて、基板上に $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ($0 \leq a$ 、 $0 \leq b$ 、 $a+b \leq 1$) をn型、p型等の導電型で積層することによって得られる。n型の窒化物半導体はノンドープの状態でも得られるが、Si、Ge、S等のドナー不純物を結晶成長中に半導体層中に導入することによって得られる。

【0026】一方、p型の窒化物半導体層はMg、Zn、Cd、Ca、Be、C等のアクセプター不純物を同じく結晶成長中に半導体層中に導入することにより得られるが、前にも述べたように、アクセプター不純物導入

後400℃以上でアニーリングを行うことにより、さらに好ましいp型が得られる。

【0027】次に図1の発光素子を具体的に述べる。以下の実施例はMOVPE法による成長方法を示している。

【0028】まず、TMG（トリメチルガリウム）とNH₃とを用い、反応容器にセットしたサファイア基板1のC面に500℃でGa_{0.3}Nよりなるバッファ層2を500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0029】次に温度を1050℃まで上げ、TMG、NH₃に加えシランガスを用い、Siドープn型Ga_{0.3}Nよりなるn型コンタクト層23を4μmの膜厚で成長させる。

【0030】続いて原料ガスにTMA（トリメチルアルミニウム）を加え、同じく1050℃でSiドープn型Al_{0.3}Ga_{0.7}N層よりなるn型クラッド層4を0.1μmの膜厚で成長させる。

【0031】次に温度を800℃に下げ、TMG、TM_{0.1}I（トリメチルインジウム）、NH₃、シランガス、DEZ（ジエチルジシラン）を用い、Si+Znドープn型In_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなる活性層5を0.1μmの膜厚で成長させる。

【0032】次に温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、NH₃、Cp2Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、Mgドープp型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなるp型クラッド層6を0.1μmの膜厚で成長させる。

【0033】次に1050℃でTMG、NH₃、Cp2Mgを用い、Mgドープp型Ga_{0.3}Nよりなる第二のp型コンタクト層72を0.5μmの膜厚で成長させる。なおこの第二のp型コンタクト層のMg濃度は $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ であった。

【0034】続いて1050℃でCp2Mgの流量を多くして、Mgドープp型Ga_{0.3}Nよりなる第一のp型コンタクト層71を200オングストロームの膜厚で成長させる。なおこの第一のp型コンタクト層71のMg濃度は $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ であった。

【0035】反応終了後、温度を室温まで下げてウェーハを反応容器から取り出し、700℃でウェーハのアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。次に最上層のp型コンタクト層7の表面に所定の形状のマスクを形成し、n型コンタクト層3の表面が露出するまでエッチングする。エッチング後、n型コンタクト層3の表面にTiとAlよりなる負電極8、第一のp型コンタクト層71の表面にNiとAuよりなる正電極9を形成する。電極形成後、ウェーハを350μm角のチップに分離した後、LED素子とした。このLED素子はIf 20mAで、Vf 3.1V、発光ピーク波長450nm、半値幅70nmの青色発光を示し、発光出力は3mWであった。

【0036】〔実施例2〕実施例1において第一のp型コンタクト層71の膜厚を500オングストロームとする他は同様にして発光素子を得たところ、If 20mAにおいて、Vf 3.2V、発光出力はほぼ同一であった。

【0037】〔実施例3〕実施例1において第一のp型コンタクト層71の膜厚を0.1μmとする他は同様にして発光素子を得たところ、If 20mAにおいて、Vf が3.3V、発光出力2.9mWであった。

10 【0038】〔実施例4〕実施例1において第一のp型コンタクト層71の膜厚を0.3μmとする他は同様にして発光素子を得たところ、If 20mAにおいてVf は3.7Vとなり、発光出力は2.8mWであった。

【0039】〔実施例5〕実施例1において、第二のp型コンタクト層72のMg濃度を $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ とし、第一のp型コンタクト層71のMg濃度を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ とする他は、同様にしてLED素子を得たところ、実施例1とほぼ同一の特性を示した。

20 【0040】〔実施例6〕図3は実施例5に係る発光素子の構造を示す模式的な断面図である。この発光素子が図1の発光素子と異なるところは、n型クラッド層4と活性層5との間に新たなバッファ層としてInを含むn型の窒化物半導体よりなる第二のn型クラッド層40を形成しているところである。この第二のクラッド層40は10オングストローム以上、0.1μm以下の膜厚で形成することが望ましく、さらに第二のn型クラッド層40と活性層5の膜厚を300オングストローム以上にすると、Inを含む第一のn型クラッド層40とInを含む活性層5とがバッファ層として作用し、n型クラッド層4、p型クラッド層6にクラックが入らず結晶性良く成長できる。さらに、この第二のn型クラッド層40を成長させることにより、不純物をドープしない量子構造の活性層が実現でき、半値幅が狭く、出力の高い発光を得ることができる。なおこの第二のn型クラッド層40はGa_{0.3}Nでもよい。

30 【0041】この第二のn型クラッド層40は、活性層5とAlとGaとを含むn型クラッド層4との間のバッファ層として作用する。つまりInとGaとを含む第二のn型クラッド層40が結晶の性質として柔らかい性質を有しているため、AlとGaとを含むn型クラッド層4と活性層5との格子定数不整合と熱膨張係数差によって生じる歪を吸収する働きがある。従って活性層を単一量子井戸構造、若しくは多重量子井戸構造として、活性層を構成する窒化物半導体層の膜厚を薄くしても、活性層5、n型クラッド層4にクラックが入らないので、活性層が弾性的に変形し、活性層の結晶欠陥が少なくなる。つまり活性層を量子井戸構造としたことにより、活性層の結晶性が良くなるので発光出力が増大する。さらに、活性層を量子井戸構造とすると、量子効果および励起子効果により発光出力が増大する。言い換えると、従来の

発光素子では活性層の膜厚を例えば1000オングストローム以上と厚くすることにより、クラッド層、活性層にクラックが入るのを防止していた。しかしながら活性層には常に熱膨張係数差、格子不整による歪が係っており、従来の発光素子では活性層の厚さが弾性的に変形可能な臨界膜厚を超えているので、弾性的に変形することができず、活性層中に多数の結晶欠陥を生じ、バンド間発光ではあまり光らない。この第二のn型クラッド層40を形成することにより、活性層が量子構造の状態において、発光素子の発光出力を飛躍的に向上させることが可能である。

【0042】具体的には、実施例1においてn型クラッド層4を成長させた後、温度を800℃に下げ、TMG、TMI（トリメチルインジウム）、NH₃、シランガスを用い、Siドープn型In_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなる第二のn型クラッド層40を500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0043】続いてTMG、TMI、NH₃を用い800℃でノンドープn型In_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなる活性層5を80オングストロームの膜厚で成長させる。後は実施例1と同様にして、p型クラッド層6、第二のp型コンタクト層72、第一のp型コンタクト層71を成長させてLED素子としたところ、このLED素子は、If 20mAでVf 3.1V、発光ピーク波長400nmの青色発光を示し、発光出力は12mWであった。さらに、発光スペクトルの半値幅は20nmであり、非常に色純度の良い発光を示した。

【0044】【実施例7】実施例6において、活性層5の組成をノンドープIn_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなる井戸層を25オングストロームと、ノンドープIn_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなる障壁層を50オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を26回繰り返し、最後に井戸層を積層して総厚約2000オングストロームの活性層6を

成長させた。後は実施例6と同様にして、LED素子としたところ、このLED素子も、If 20mAでVf 3.1V、発光ピーク波長400nmの青色発光を示し、発光出力は12mWであった。さらに、発光スペクトルの半値幅は20nmであり、非常に色純度の良い発光を示した。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の発光素子はダブルヘテロ構造の発光素子において、正電極を形成するp型層を高アクセプター不純物濃度の第一のp型層と、低不純物濃度の第二のp型層とすることにより、Vfを低下させることができるので発光効率が向上する。従ってLEDを大量に用いた大型ディスプレイ、屋外広告板等を実現した際には消費電力の少ないデバイスを実現でき、その産業上の利用価値は大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係る発光素子の構造を示す模式断面図。

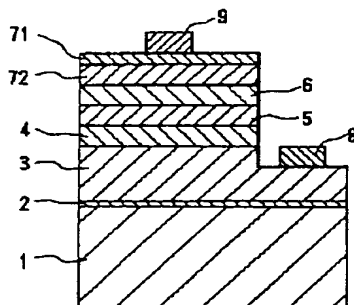
【図2】 従来の発光素子の構造を示す模式断面図。

【図3】 本発明の他の実施例に係る発光素子の構造を示す模式断面図。

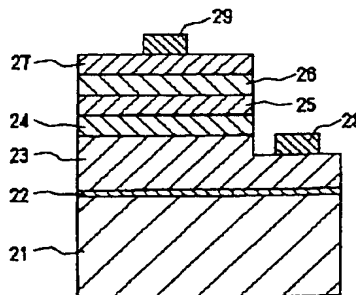
【符号の説明】

- 1・・・基板
- 2・・・パッド層
- 3・・・n型コンタクト層
- 4・・・n型クラッド層
- 5・・・活性層
- 6・・・p型クラッド層
- 72・・・第二のp型コンタクト層
- 71・・・第一のp型コンタクト層
- 8・・・負電極
- 9・・・正電極

【図1】



【図2】



【図3】

